МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
Кафедра МОЭВМ

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Алгоритмы и структуры данных»

Тема: Динамическое и статическое кодирование и декодирование методом Хаффмана

Студент гр. 8304 _____ Мухин А. М.

Преподаватель _____ Фирсов М. А.

Санкт-Петербург
2019

ЗАДАНИЕ
НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Студент Мухин А. М.

Группа 8304

Тема работы: **Динамическое и статическое кодирование и декодирование методом Хаффмана**

Исходные данные:
Строка, которую нужно закодировать статическим и динамическим методом, а после декодировать её.

Содержание пояснительной записки:

- Содержание
- Введение
- Статическое кодирование и декодирование
- Динамическое кодирование и декодирование
- Заключение
- Список использованных источников

Предполагаемый объем пояснительной записки:
Не менее 20 страниц.

Дата выдачи задания: 11.10.2019
Дата сдачи задания: 17.12.2019
Дата защиты задания: 17.12.2019

Студент _____ Мухин А. М.

Преподаватель _____ Фирсов М. А.

АННОТАЦИЯ

В данной работе, была написана программа на языке программирования C++. В ней были использованы преимущества этого языка, такие как автоматическое слежение за выделенной памятью, с помощью умных указателей, а также сгенерирована документация с помощью утилиты doxygen.

SUMMARY

In this paper, a pogram was written in the C ++ programming language. It used the advantages of this language, such as automatic tracking of allocated memory using smart pointers, and documentation was generated using the doxygen utility.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы было реализовать и сравнить два метода кодирование и декодирования информации: статический и динамический. Документация использованных структур данных и функций была сгенерирована с помощью утилиты doxygen, её можно найти в репозитории, в файле index.html.

1. СТАТИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ И ДЕКОДИРОВАНИЕ

1.1. Статическое кодирование

Работа программы начинается со считывания строки, которую необходимо закодировать. Далее создаётся ассоциативный массив, который посредством функции std::map<std::wstring, int> get_list_count_letter(std::wstring) заполняется ключами из элементов строки и значениями по этим ключам, являющимися количеством вхождений данного ключа во входную строку.

Далее, для более удобного оперирования с этими данными, значения перегоняются в вектор типа std::vector<std::pair<std::wstring, int>> для дальнейшей удобной сортировки и изменения значений элементов этого вектора.

Сортировка происходит с помощью функции стандартной библиотеки функцию компаратора. В нашем случае функцию компаратора заменяет лямбда функция.

Далее идёт главный цикл программы, который закончится, когда в нашем векторе останется только один элемент(все символы последовательности, как одна строка). Также во время одной итерации определяется итератор на последний и предпоследний элемент, которые между собой суммируются и возникает новый элемент, который и вставляется в наш вектор, а два последних удаляются. Также, именно тут строится код каждого элемента, если частота последнего элемента равна частоте предпоследнего, то в начало кода для последнего дописывается 1, а предпоследнего 0. Если не равны, наоборот.

Также следует обратить внимание на функцию поиска места, куда необходимо вставить новый элемент. std::vector<std::pair<std::wstring, итератор на найденную позицию, перед которой необходимо произвести вставку. Реализована довольно просто и не требует подробных объяснений.

Наконец, после того, как все манипуляции с нашими данными выполнены, остаётся только записать данные в два выходных файла. В файле symbol_code.txt будет находится информация в виде <символ>:<его код>, а в файле

c

o

1.2. Статическое декодирование

i Декодирование происходит до тех пор, пока мы не пройдёмся по закоди-

рованной строке полностью. В цикле перебирая все пары из словаря <char,

std::string> мы ищем ключ-символ, строка-значение которого будет началом за-

кодированной строки. В виду того, что все коды символов обладают свойством

префиксности, проход по закодированной строке будет однозначным.

s

s 2. ДИНАМИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ И ДЕКОДИРОВАНИЕ

2.1. Динамическое кодирование

g Процесс кодирование начинается со считывания данных которые надо за-

кодировать. Далее, идёт посимвольная обработка считанной строки. Символ

[illegible] возрастания весов и, если она нарушена, дерево перестраивается. После того, как считывается последний символ в файл вывода выводится строка в закодированном виде.

2.2. Динамическое декодирование

Процесс декодирование практически полностью повторяет процесс кодирование за тем исключением, что здесь надо проходить по закодированному сообщение и проверять совпадает ли его начало с путём до листа в существующем дереве. Если да, то далее необходимо пройтись по словарю <символ> – <его код> и определить какая буква стоит далее, после добавить это букву в новое дерево. Иначе надо постепенно идти по новому дереву с учётом того, какие символы стоят в закодированной строке до тех пор, пока не дойдём до листа с символом отличным от \0.

3. ТЕСТРИРОВАНИЕ

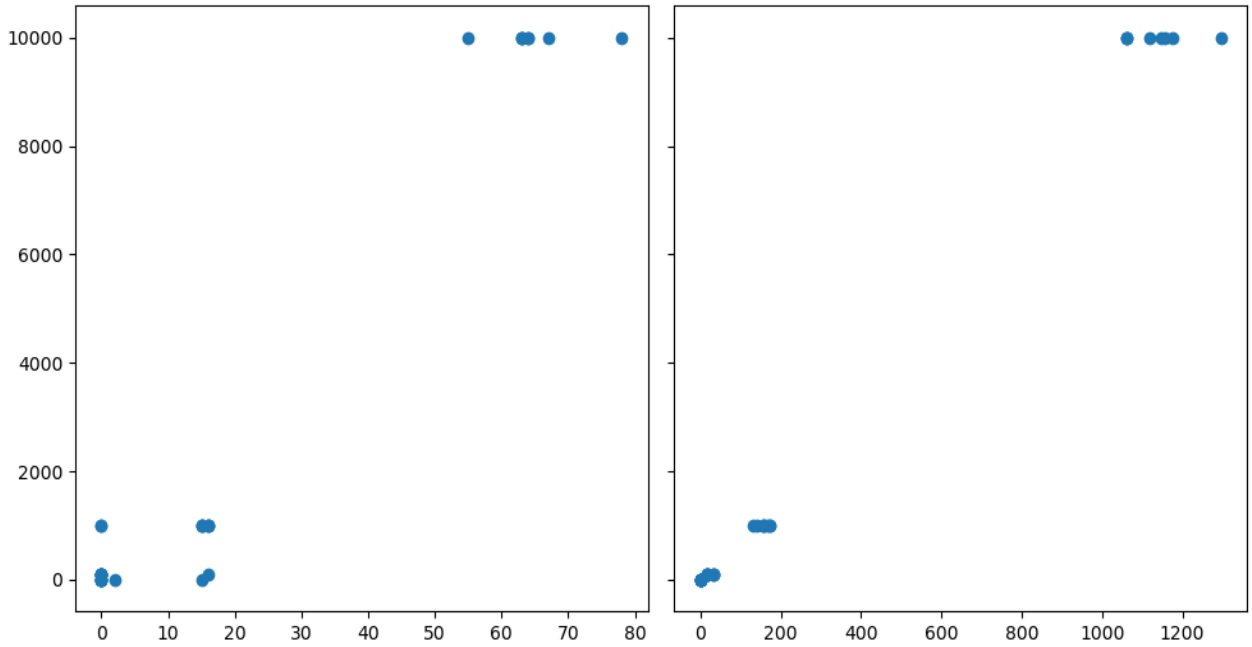
Закодированные сообщения подаются в качестве аргументов командной строки. После выполнения программы на каждый аргумент создаётся 5 файлов: code_message_Dinamic_Hafman.txt, code_message_Static_Hafman.txt, decode_message_Dinamic_Hafman.txt, decode_message_Static_Hafman.txt, symbol_code_Static_Hafman.txt. В файлах содержащих в себе code_message находится закодированное сообщение соответствующим методом. Аналогично для decode_message, только там будет уже раскодированная информация. В файле symbol_code_Static_Hafman.txt будет находится информация в виде <символ>:<его код>. Также после работы обоих методов подчитывается время их выполнения и выводится в консоль. Тестирование работы программы представлено в таблице 1 ниже.

Таблица 1 – результаты тестирования программы.

Входная строка	code_message_Dinamic_Hafman.txt	code_message_Static_Hafman.txt	decode_message_Dinamic_Hafman.txt	decode_message_Static_Hafman.txt	symbol_code_Static_Hafman.txt
p	01111	1	p	p	p:1
abrakadabra	000000000010010001010000100110000011101101100	01101110101010001101110	abrakadabra	abrakadabra	a:0 b:110 d:100 k:101 r:111
koloboklovok	010100011100001011111100000010101110110010110	10011101100010111011010	koloboklovok	koloboklovok	b:1100 k:10 l:111 o:0 v:1101
qwer-zxcvasdfertycvbnpoiujlkjh	100000110000001001001000100111111001101100000010011001010110000000011	10101100010101001100001000001000110101111101001111011	qwer-zxcvasdfertycvbnpoiu-jlkjh	qwer-zxcvasdfertycvbnpoiu-jlkjh	a:10111 b:11111 c:0100 d:11110

	10010010110000001 11010000101110001 01000010011001001 11010001110000000 00011101000110111 00000111110110001 11010100001000100 10010101000000100 10111000101101100 00101001000101000 0111	1010101001110 0110001010001 1011111110001 0110001011011 1001001111100 1110100111111 00			e:0101 f:11101 h:11100 i:11011 j:0111 k:11010 l:11001 n:11000 o:0010 p:10110 q:10101 r:0011 s:10100 t:10011 u:10010 v:0110 w:10001 x:10000 y:0001 z:0000

На рисунке ниже представлена зависимость длины сообщение от количества тактов, которые необходимы на обработку этого сообщения статическим методом (слева) и динамическим(справа).



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге, можно убедиться, что статический метод работает быстрее. Это происходит потому, что динамическое кодирование и декодирование реализовано на основе ссылок, что занимает время на переход от элемента к элементу, а также многократный обращение к свободной памяти с просьбой её заполнить, в то время как в статическом методе элементы хранятся друг за другом и память выделяется гораздо реже.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%B4_%D0%A5%D0%B0%D1%84%D1%84%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B0
2. https://habr.com/ru/post/144200/
3. https://habr.com/ru/post/438512/
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D0%B0%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B0%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC_%D0%A5%D0%B0%D1%84%D1%84%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B0
5. http://compression.ru/download/articles/huff/yankovoy_2004_huffman/dynamic_huffman.html
6. https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnyy-algoritm-haffmana-szhatiya-informatsii

ПРИЛОЖЕНИЕ А

СОДЕРЖИМОЕ ФАЙЛА MAIN.CPP

```
#include "Dinamic_Hafman/tree.h"
#include "Static_Hafman/Static_Hafman.h"
#include <ctime>

int main(int argc, char* argv[]) {
    if (argc < 2) {
        std::cout << "Необходимо ввести строку для кодирования, она может
состоять только из букв английского алфавита в нижнем регистре!" <<
std::endl;
        return 1;
    } else {
        time_t start_dinamic = clock();
        use_dinamic(argc, argv);
        time_t end_dinamic = clock();

        use_static(argc, argv);
        time_t end_static = clock();

        std::cout << "Dinamic: " << end_dinamic - start_dinamic <<
std::endl;
        std::cout << "Static: " << end_static - end_dinamic;
        return 0;
    }
}
```

СОДЕРЖИМОЕ ФАЙЛА STATIC_HAFMAN.CPP

```
#include "Static_Hafman.h"

/*!
 * @brief Функция, которая подсчитывает количество вхождений каждого сим-
вола в переданную ей строку.
 * @param local_string строка, в которой надо подсчитать количество вхож-
дений её символов
 * @return словарь <std::string, int>, содержащий символ и его количество
 */
std::map<std::string, int> get_list_count_letter(const std::string& lo-
cal_string) {
     std::map<std::string, int> set;
     for (auto c : local_string) {
          std::string tmp_string = { '\0' };
          tmp_string = c;
          if (set[tmp_string] == 0) {
               set[tmp_string] = 1;
          } else {
               set[tmp_string]++;
          }
     }
     return set;
}

/*!
 * @brief Функция поиска нужного места для вставки слитых символов
```

```
 * @param arr вектор, в котором должна произойти вставка
 * @param b вес, который сравнивается с остальными весами в векторе
 * @return если такого места нет, возвращается итератор на end(), в про-
тивном случае на элемент,
 * перед которым произойдёт вставка
 */
std::vector<std::pair<std::string, int>>::iterator decision(std::vec-
tor<std::pair<std::string, int>>& arr, int b) {
      for (auto it = arr.begin(); it != arr.end(); it++) {
            if ((*it).second <= b) {
                  return it;
            }
      }
      return arr.end();
}

/*!
 * @brief Функция декодирования закодированной строки.
 * @details Декодирование происходит до тех пор, пока мы не пройдёмся по
закодированной строке полностью.
 * В цикле перебирая все пары из словаря result мы ищем ключ-символ,
строка-значение которого
 * будет началом закодированной строки. В виду того, что все коды симво-
лов обладают свойством префиксности,
 * проход по закодированной строке будет однозначным.
 * @param result словарь <char, std::string>, ключ является символом, а
значение по ключу кодированием этого символа
 * @param coding_message закодированное сообщение
 * @param i порядковый номер аргумента командной строки, нужен для созда-
ния очередного файлы    вывода
 */
void decode(const std::unordered_map<char, std::string>& result,
std::fstream& coding_message, int i) {
      int lenght = 0;
      std::string coding_string = {};
      std::ofstream decode_message(std::string("decode_mes-
sage_Static_Hafman") + std::to_string(i) + std::string(".txt"));
      coding_message.seekg(0, std::ios::beg);

      std::getline(coding_message, coding_string);

      while (!coding_string.empty()) {
            for (const auto& pair : result) {
                  auto k = coding_string.find(pair.second);
                  if (!k) {
                        decode_message << pair.first;
                        lenght = pair.second.length();
                        coding_string.erase(0, lenght);
                        break;
                  }
            }
      }
}

int use_static(int argc, char* argv[]) {
    for (int i = 1; i < argc; i++) {
        std::string input_string = argv[i];
```

```
        std::vector<std::pair<std::string, int>> arr;

        std::map<std::string, int> set = get_list_count_letter(in-
put_string);

        for (const auto& iter : set) {
            arr.emplace_back(std::pair<std::string, int>(iter.first,
iter.second));
        }

        std::sort(arr.begin(), arr.end(), [](const std::pair<std::string,
int>& a, const std::pair<std::string, int>& b) {
                                                return a.second > b.second;
                                            }
        );

        int sum_frequency = 0;
        std::string sum_str = {};
        std::unordered_map<char, std::string> result = {};

        if (arr.size() == 1) {
            result[arr[0].first[0]] = "1";
        } else {
            while (arr.size() != 1) {
                // определяем последний и предпоследний элементы
                auto last = --arr.end();
                auto penultimate = arr.end() -= 2;

                // считаем их общую частоту и определяем новый элемент
                sum_frequency = (*last).second + (*penultimate).second;
                sum_str = (*last).first + (*penultimate).first;

                // строим путь до элементов
                // проверка на равенство: тогда должны поменяться местами
последний и предпоследний элементы, но так как
                // далее проводятся операции только через итераторы, мы
просто поменяет местами эти итераторы)))
                if ((*last).second == (*penultimate).second) {
                    std::swap(last, penultimate);
                }

                // операции с последним элементом
                if ((*last).first.size() == 1) {
                    result[(*last).first[0]] = "0";
                } else {
                    for (auto c : (*last).first) {
                        result[c] = "0" + result[c];
                    }
                }

                //операции с предпоследним элементом
                if ((*penultimate).first.size() == 1) {
                    result[(*penultimate).first[0]] = "1";
                } else {
                    for (auto c : (*penultimate).first) {
                        result[c] = "1" + result[c];
                    }
```

```
                }

                // вставляем новый элемент с общей частотой в нужное ме-
сто и удаляем два последних
                arr.emplace(decision(arr, sum_frequency),
std::pair<std::string, int>(sum_str, sum_frequency));
                arr.erase(arr.end() -= 2, arr.end());
            }
        }

        std::ofstream symbol_code(std::string("symbol_code_Static_Haf-
man") + std::to_string(i) + std::string(".txt"));
        std::fstream coding_message(std::string("code_message_Static_Haf-
man") + std::to_string(i) + std::string(".txt"), std::ios::out |
std::ios::in | std::ios::trunc);

        // вывод значений символ : его код
        for (const auto& pair : set) {
            symbol_code << pair.first << ":" << result[pair.first[0]] <<
std::endl;
        }

        for (auto symbol : input_string) {
            coding_message << result[symbol];
        }

        decode(result, coding_message, i);

        symbol_code.close();
        coding_message.close();
    }
     return 0;
}
```

СОДЕРЖИМОЕ ФАЙЛА DINAMIC_HAFMAN.CPP

```
#include "tree.h"

int use_dinamic(int argc, char* argv[]) {
    char c = '1';
    for (int i = 1; i < argc; i++) {
        Tree coding_tree;
        std::stringstream ss;
        ss << argv[i];
        std::ofstream code_message(std::string("code_message_Dinamic_Haf-
man" + std::to_string(i) + ".txt"));
        std::ofstream decode_message(std::string("decode_mes-
sage_Dinamic_Hafman" + std::to_string(i) + ".txt"));

        while (ss.peek() != EOF) {
            ss.get(c);
            coding_tree.insert(c);
            std::vector<std::pair<int, std::shared_ptr<Node>>> tmp = cod-
ing_tree.get_order();

            while (!coding_tree.check_ascending(tmp)) {
                coding_tree.restructure();
```

```
                tmp = coding_tree.get_order();
            }
        }

        code_message << coding_tree.code_string;
        code_message.close();

        coding_tree.decode();

        decode_message << coding_tree.decode_string;
        decode_message.close();
    }
    return 0;
}
```

СОДЕРЖИМОЕ ФАЙЛА TREE.CPP

```
#include "tree.h"

/*!
 * @brief Конструктор
 * @details Создаёт словарь <char, std::string>, другими словами алфавит,
 * который будут использовать кодировщик и декодировщик.
 */
Tree::Tree() {
     special_code['a'] = "00000";
     special_code['b'] = "00001";
     special_code['c'] = "00010";
     special_code['d'] = "00011";
     special_code['e'] = "00100";
     special_code['f'] = "00101";
     special_code['g'] = "00110";
     special_code['h'] = "00111";
     special_code['i'] = "01000";
     special_code['j'] = "01001";
     special_code['k'] = "01010";
     special_code['l'] = "01011";
     special_code['m'] = "01100";
     special_code['n'] = "01101";
     special_code['o'] = "01110";
     special_code['p'] = "01111";
     special_code['q'] = "10000";
     special_code['r'] = "10001";
     special_code['s'] = "10010";
     special_code['t'] = "10011";
     special_code['u'] = "1010";
     special_code['v'] = "1011";
     special_code['w'] = "1100";
     special_code['x'] = "1101";
     special_code['y'] = "1110";
     special_code['z'] = "1111";
}

/*!
 * @brief Осуществляет вставку структуры Node в дерево
```

```
 * @details Есть три возможных случая вставки элемента в дерево. Когда
дерево полностью пустое,
 * когда дерево не пустое и текущего символа в дереве нет, и когда дерево
не пустое и текущий
 * символ в дереве есть.
 * @param symbol очередной символ, который необходимо вставить в струк-
туру дерева с размеченными
 * листьями
 */
void Tree::insert(char symbol) {
    if (root == nullptr) {
        root = std::make_shared<Node>();
        root->left = std::make_shared<Node>();
        root->right = std::make_shared<Node>();
        for_new = std::make_shared<Node>();

        root->parent = nullptr;
        root->weight = 1;
        root->symbol = '\0';

        root->left->parent = root;
        root->left->weight = 0;
        root->left->symbol = '\0';
        for_new = root->left;

        root->right->parent = root;
        root->right->weight = 1;
        root->right->symbol = symbol;
        symbol_ptr[symbol] = root->right;

        code_string += special_code[symbol];
    } else {
     auto place_to_insert = symbol_ptr.find(symbol);
          if (place_to_insert == symbol_ptr.end()) {
               for_new->left = std::make_shared<Node>();
               for_new->right = std::make_shared<Node>();

               for_new->weight = 1;
               for_new->symbol = '\0';

               for_new->right->parent = for_new;
               for_new->right->weight = 1;
               for_new->right->symbol = symbol;
               symbol_ptr[symbol] = for_new->right;

           code_string += get_path_by_ptr(for_new);
               code_string += special_code[symbol];

               for_new->left->parent = for_new;
               for_new->left->weight = 0;
               for_new->left->symbol = '\0';
               for_new = for_new->left;

               std::shared_ptr<Node> k = for_new->parent->parent;
               while (k != nullptr) {
               k->weight++;
               k = k->parent;
```

```
            }
        } else {
            (*place_to_insert).second->weight++;
            std::shared_ptr<Node> k = (*place_to_insert).second->parent;
            while (k != nullptr) {
                k->weight++;
                k = k->parent;
            }
            code_string += get_path_by_ptr((*place_to_insert).sec-
ond);
        }
    }
}

/*!
 * @brief Возвращает строку-путь до элемента в дереве с поданным в каче-
стве аргумента значением
 * @param ptr указатель на узел, до которого необходимо узнать путь
 * @return строка-путь до переданного элемента
 */
std::string Tree::get_path_by_ptr(std::shared_ptr<Node> ptr) {
    std::string path = {};
    if (ptr != nullptr) {
        while (ptr->parent != nullptr) {
            if (ptr == ptr->parent->right) {
                path = '1' + path;
            } else {
                path = '0' + path;
            }
            ptr = ptr->parent;
        }
    } else {
        return "";
    }
    return path;
}

/*!
 * @brief Генерация последовательности хранения элементов в дереве
 * @details С помощью обхода в ширину (справа налево) генерируем вектор
из указателей на элементы
 * в дереве.
 * @return вектор типа std::pair<int, std::shared_ptr<Node>>, где первый
элемент это вес, а второй
 * ссылка на этот элемент
 */
std::vector<std::pair<int, std::shared_ptr<Node>>> Tree::get_order() {
    std::shared_ptr<Node> tmp = std::make_shared<Node>();
    std::vector<std::pair<int, std::shared_ptr<Node>>> order;
    std::queue<std::shared_ptr<Node>> q;

    q.push(root);
    while (!q.empty()) {
        tmp = q.front();
        order.emplace_back(std::make_pair(tmp->weight, tmp));
        q.pop();
```

```
        if (tmp->right != nullptr) {
            q.push(tmp->right);
        }

        if (tmp->left != nullptr) {
            q.push(tmp->left);
        }
    }
    return order;
}

/*!
 * @brief Проверка на не возрастание полученной последовательности
 * @details Проверяем, существует ли нарушение в нашей последовательно-
сти. Все веса должны стоять в
 * порядке невозрастания. Если порядок нарушен, переменным Tree::first и
Tree:second присваивается
 * значение указателей на эти переменные.
 * @param order сгенерированный в Tree::get_order() вектор обхода дерева
с размеченными листьями
 * @return true если порядок не нарушен, false - в противном случае
 */
bool Tree::check_ascending(std::vector<std::pair<int,
std::shared_ptr<Node>>> order) {
    for (int i = 0; i < order.size() - 2; i++) {
        for (int j = i + 1; j < order.size() - 1; j++) {
            if (order[i].first < order[j].first) {
                first = std::make_shared<Node>();
                second = std::make_shared<Node>();
                first = order[i].second;
                second = order[j].second;
                return false;
            }
        }
     }
     return true;
}

/*!
 * @brief Перестроение дерева
 * @details Меняем местами указатели на родителей найденных элементов, а
также обновляем указатели
 * на детей этих родителей. Тут же сразу пересчитываем веса, после всех
замен.
 */
void Tree::restructure() {
    if (first == first->parent->left) {
        // если a это левый ребёнок
        if (second == second->parent->left) {
            // если b левый ребёнок
            std::swap(first->parent->left, second->parent->left);
        } else {
            // если b - правый
            std::swap(first->parent->left, second->parent->right);
        }
    } else {
        // если a правый ребёнок
```

```
        if (second == second->parent->left) {
            // если b - левый ребёнок
            std::swap(first->parent->right, second->parent->left);
        } else {
            // если b - правый ребёнок
            std::swap(first->parent->right, second->parent->right);
        }
    }
    std::swap(first->parent, second->parent);

    while (first->parent != nullptr) {
        first->parent->weight = first->parent->left->weight + first->par-
ent->right->weight;
        first = first->parent;
    }

    while (second->parent != nullptr) {
        second->parent->weight = second->parent->left->weight + second-
>parent->right->weight;
        second = second->parent;
    }
}

/*!
 * @brief Декодирование данных
 * @details Идея заключается в постепенном построении такого же как и за-
кодированное дерево дерева.
 * Пока закодированная строка не пуста будем сравнивать её начало с путём
до листа: в случае, если
 * она не начинается с путя до листа мы идём по новому дереву, постепенно
удаляя в закодированной
 * строке символы, пока не встретим элемент со значением символа отличным
от \0, иначе ищем эту букву
 * в алфавите, который предоставлен и кодировщику и декодировщику. В лю-
бом случае, мы получим букву,
 * которую следует добавить в новое дерево, для кодировщика и повторить
итерацию, пока закодированная
 * строка не окажется пустой.
 */
void Tree::decode() {
    Tree decode_tree;
    std::vector<std::pair<int, std::shared_ptr<Node>>> tmp;
    std::string path_to_leaf = {};
    while (!code_string.empty()) {
        path_to_leaf = get_path_by_ptr(decode_tree.for_new);
        if (code_string.find(path_to_leaf) == 0) {
            code_string.erase(0, path_to_leaf.size());
            // начинаем искать букву в словаре
            for (const auto& pair : special_code) {
                if (code_string.find(pair.second) == 0) {
                    decode_string += pair.first;
                    code_string.erase(0, pair.second.size());
                    decode_tree.insert(pair.first);
                    tmp = decode_tree.get_order();
                    break;
                }
            }
```

```
        } else {
            // идём по дереву и ищем букву
            std::shared_ptr<Node> tmp_root = decode_tree.root;
            while (tmp_root->symbol == '\0') {
                if (code_string[0] == '0') {
                    tmp_root = tmp_root->left;
                } else {
                    tmp_root = tmp_root->right;
                }
                code_string.erase(0, 1);
            }
            decode_string += tmp_root->symbol;
            decode_tree.insert(tmp_root->symbol);
            tmp = decode_tree.get_order();
        }
        path_to_leaf = get_path_by_ptr(decode_tree.for_new);

        while (!decode_tree.check_ascending(tmp)) {
            decode_tree.restructure();
            tmp = decode_tree.get_order();
        }
    }
}
```